



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

Cooperativismo de Plataforma e Pesquisa Operacional Baseada na Tecnociência Solidária: Desenvolvimento de um Algoritmo Evolutivo de Roteamento para uma Cooperativa de Ciclo Entregas de São Paulo

Gustavo Nicolau Gonçalves, FEEC/Unicamp, gustavo.nicolaug@gmail.com

Romis Ribeiro de Faissol Attux, FEEC/Unicamp, attux@unicamp.br

Cristiano Cordeiro Cruz, UFSJ, cristianocruz@yahoo.com.br

ARTIGO TÉCNICO-CIENTÍFICO

EIXO TEMÁTICO: TECNOLOGIA SOCIAL E INOVAÇÃO SOCIAL

RESUMO

Em resposta aos avanços neoliberais nas plataformas digitais de trabalho, pessoas trabalhadoras têm criado suas próprias plataformas, como exemplificado pela cooperativa Senhoritas Courier, sediada na cidade de São Paulo/SP. Em conjunto com uma equipe de pesquisadores da UNICAMP e demais parceiros, a cooperativa iniciou, em 2023, a construção de sua plataforma. O grupo da UNICAMP contribui desenvolvendo um algoritmo de roteamento de entregas, adaptando técnicas da Pesquisa Operacional para incorporar práticas já existentes junto à cooperativa à solução computacional. Neste trabalho, discutiremos essa proposta de construção de software solidário, que forma a base do mestrado desenvolvido pelo primeiro autor junto com seus orientadores. O texto é dividido em cinco seções, abordando desde a fundamentação teórica até a implementação do algoritmo e o experimento realizado.

PALAVRAS-CHAVE:

Roteamento solidário. Algoritmos genéticos. Metodologias de engenharia popular. Tecnociência solidária. Cooperativismo de plataforma.



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

INTRODUÇÃO

Diante da expansão neoliberal promovida pelas plataformas digitais de trabalho, pessoas trabalhadoras têm se mobilizado para criar suas próprias plataformas. Esse movimento social, observado em diversas regiões globais, é estudado por diferentes perspectivas similares, porém com abordagens distintas, como o cooperativismo de plataforma (SCHOLZ, 2013), plataformas autogeridas pelos trabalhadores (GROHMANN, 2022) e a Economia Solidária 2.0 (ALVEAR et al., 2023).

A cooperativa paulistana de ciclo entregas Señoritas Courier, composta exclusivamente por mulheres cisgênero e pessoas transgênero, é um dos diversos grupos de pessoas trabalhadoras que estão construindo plataformas próprias para auxiliar na gestão de seu trabalho. Juntamente conosco, pesquisadores vinculados ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UNICAMP, com o Núcleo de Tecnologia do Movimento dos Trabalhadores Sem Teto (NT-MTST) e com outras pessoas voluntárias, a cooperativa deu início à criação de sua própria plataforma de entregas no início de 2023 (GOLDSMAN, 2023). Desde o início do projeto, a elaboração e desenvolvimento da plataforma têm como foco principal a consideração cuidadosa e prioritária das necessidades e experiências das pessoas entregadoras.

Ao longo dos anos, a cooperativa desenvolveu um método próprio para elaborar e distribuir os itinerários de entregas entre seus integrantes. Essa forma de organizar o trabalho carrega em si parte essencial da cooperativa ao incorporar elementos do cuidado e o resultado de experimentações e reflexões sobre entregas adquiridas durante a existência do Señoritas Courier. A equipe da UNICAMP, composta pelos autores deste artigo, ingressou no projeto com objetivo de desenvolver o algoritmo de roteamento de entregas da plataforma que incorpore em seu funcionamento os



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

valores e práticas do método atual da cooperativa. Enfrentar esse desafio implica empregar técnicas da Pesquisa Operacional (PO), cujo uso se vincula, historicamente, às tecnociências capitalistas, para a construção desta solução, que se insere no arcabouço conceitual da tecnociência solidária (DAGNINO, 2019). O desenvolvimento do algoritmo é componente essencial da pesquisa de mestrado do primeiro autor, que busca não apenas auxiliar a cooperativa através da construção de uma ferramenta computacional, mas também explorar um paradigma solidário de projeto de software, investigando novas metodologias, conceitos e práticas.

Os autores compreendem que o processo sociotécnico tem implicações para além dos produtos e resultados finais. Entretanto, este texto foca principalmente no aspecto técnico do trabalho desenvolvido. Questões relacionadas à metodologia e ao empoderamento potencializado pela intervenção serão detalhadas em trabalhos futuros.

Este texto é composto por cinco seções, além desta introdução. Na primeira, apresentamos o caminho seguido até aqui e parte da fundamentação teórica da intervenção que temos desenvolvido. Na segunda, fazemos um breve esboço da origem da pesquisa operacional, que se associa à tecnociência capitalista. A seção seguinte apresenta o conceito de algoritmo genético, que é essencial para a compreensão do algoritmo desenvolvido. Na quarta seção, descrevemos em maiores detalhes a implementação do algoritmo e analisamos um experimento realizado que busca trazer aspectos quantitativos baseados em informações fornecidas pela cooperativa sobre a qualidade das rotas geradas. Por fim, na última seção, trazemos as considerações finais sobre os resultados e reflexões apresentadas nas seções anteriores.

HISTÓRICO E BREVE FUNDAMENTAÇÃO

Como diz Andrew Feenberg (2002, p.15), tecnologia não é destino. Ela, ao contrário, é em boa medida resultado de diferentes forças sociais que intervêm no



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

processo de seu desenvolvimento. É por isso que a tecnologia (ou o desenvolvimento tecnológico) precisa ser democratizada, isto é, disputada e pautada por movimentos sociais e diferentes atores contra-hegemônicos (FEENBERG, 1999). Será a partir dessas disputas que diferentes ordenamentos sociotécnicos – e seus respectivos modelos ou ideais de estruturação e funcionamento social – serão passíveis de ser construídos (FEENBERG, 2019). E é também por aí que cosmovisões diferentes das hegemônicas poderão ser sustentadas ou emuladas (cosmo)tecnicamente (HUI, 2016; 2017; 2020).

A disputa pela construção de outros mundos possíveis mostra-se, assim, como uma disputa também por outras tecnologias (ou, mais propriamente, por outras soluções socio/cosmotécnicas). Na verdade, pode-se mesmo argumentar que a tecnociência dominante opera como peça central no edifício sistêmico da opressão de nosso tempo. Nos termos da teoria decolonial (ESTERMANN, 2014; MALDONADO-TORRES, 2009), a tecnociência dominante constituiria o cerne da colonialidade do saber, oferecendo-se a um só tempo como discurso legitimador do status quo, como saber e prática sujeitadores de tudo e todos ao ordenamento dominante do poder e como lente avalizadora da pertinência ou razoabilidade de outros conhecimentos e ideais/discursos sobre o real.

Ou seja, a disputa pela democratização da tecnologia pressupõe também uma disputa pelas universidades e demais espaços de pesquisa, porque é também lá que as fronteiras do conhecimento são expandidas. Assim, avançar projetos e pautas de pesquisa contra-hegemônicos no seio da universidade, além de fundamental para a potencialização de novas tecnologias (ou ordens socio/cosmotécnicas) possíveis, é essencial para decolonização (ou o alargamento) da ciência e da engenharia em si mesmas.

É nesse sentido de disputa e alargamento da engenharia/universidade e de busca por se colocar a serviço de uma cooperativa de pessoas ciclo entregadoras de São Paulo, que nasceu este trabalho de mestrado. Com intuito de contribuir com a construção de um algoritmo de roteamento para a plataforma que fizesse jus aos



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

conhecimentos e valores da cooperativa Señoritas Courier, os autores deste artigo organizaram sua atuação em 3 etapas (GONÇALVES et al., 2023). Durante a primeira, que foi chamada de reconhecimento mínimo, a relação entre os grupos participantes – UNICAMP, Señoritas Courier e NT-MTST – foi construída e as informações e condições necessárias (como escolhas de ferramentas e serviços de software) para os desenvolvimentos das etapas seguintes foram obtidas e organizadas. A segunda etapa, chamada de primeira mínima intervenção empoderadora, foi o momento de construção da primeira versão do algoritmo e de suas dependências de implementação para que pudesse ser evoluído e integrado ao restante da plataforma na terceira etapa, ainda em andamento até a escrita deste artigo, que se chamou de desenvolvimento e aprofundamento.

Este artigo foca na vertente técnica do projeto, evidenciando os avanços no desenvolvimento, análises e reflexões sobre o algoritmo de roteamento e, assim, complementando trabalhos anteriores, cujo foco foram aspectos metodológicos do projeto.

PESQUISA OPERACIONAL

A sobrevivência dos seres humanos e das sociedades por eles formadas sempre exigiu, em alguma medida, proficiência na capacidade de resolver problemas de otimização, como aqueles ligados ao gerenciamento de recursos limitados. Não obstante, foi apenas com o desenvolvimento do cálculo diferencial e integral que a teoria de otimização se consolidou como uma disciplina matemática no sentido moderno (FLOUDES; PARDALOS, 2008).

As duas guerras mundiais que marcaram a história do século XX trouxeram aos países beligerantes problemas de produção e alocação de recursos numa escala inédita. A própria natureza do esforço de guerra sofreu drásticas mudanças diante das novas tecnologias de transporte e destruição disponíveis. Na Segunda Guerra Mundial, especialmente, esses desafios começaram a ser abordados através do uso mais



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

extensivo de metodologias matemáticas e estatísticas sofisticadas, o que lançou as bases para um novo arcabouço teórico em otimização. Paralelamente a isso, surge, no final da década de 1940, o computador digital, permitindo a realização de operações matemáticas com velocidade e precisão inéditas, assim como a construção de modelos refinados para a simulação de uma ampla gama de fenômenos determinísticos e estocásticos.

Com o fim da Segunda Guerra, as novas tecnologias e metodologias continuaram a se desenvolver no âmbito das demandas impostas pelo novo capitalismo industrial protagonizado pelos EUA. É nesse cenário que surge a disciplina conhecida como Pesquisa Operacional (PO), a qual dialoga diretamente com a teoria de otimização e com os nascentes paradigmas de administração de empresas (business management). Diversas metodologias de otimização são utilizadas em tarefas clássicas de PO, mas, neste trabalho, abordaremos a família das metaheurísticas denominadas algoritmos genéticos.

ALGORITMOS GENÉTICOS

O surgimento do computador digital na década de 1940 suscitou inúmeras possibilidades de simulação de fenômenos biológicos e de utilização de metáforas oriundas da biologia na solução de problemas de engenharia. As metodologias desenvolvidas nesse contexto são agrupadas, nos dias atuais, sob a égide do conceito de computação bio-inspirada (DE CASTRO, 2006). São exemplos de metodologias bio-inspiradas as redes neurais artificiais (HAYKIN, 2009) - base das técnicas de aprendizado profundo (deep learning) (GOODFELLOW et al., 2016) -, os algoritmos de inteligência de enxame (swarm intelligence) (EBERHART; KENNEDY, 2001) e uma ampla classe de algoritmos evolutivos (AEs), ou seja, algoritmos inspirados na moderna síntese da teoria darwiniana da evolução (DE JONG, 2006).

O desenvolvimento dos AEs se deu, entre as décadas de 1950 e 1970, por meio de fios condutores que originaram classes de algoritmos que, não obstante o



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

compartilhamento de um arcabouço de conceitos ligados à seleção natural e à genética, apresentavam diferenças dignas de nota. Essas classes incluem as estratégias evolutivas, a programação evolutiva e os algoritmos genéticos (AGs) (CASTRO, 2006), que enfocaremos mais detalhadamente neste trabalho.

Os AGs, propostos por John Holland (HOLLAND, 1975), assim como os demais membros da família dos AEs, baseiam-se num arcabouço conceitual neodarwinista, que une a ideia de seleção natural de Charles Darwin e Alfred Wallace à genética moderna.

Quando se aplica um AG à solução de um problema de otimização, como o problema de maximizar certa função com respeito a uma ou mais variáveis livres, agrupam-se essas variáveis numa lista (vetor) que recebe o nome de cromossomo. Assim como um cromossomo, do ponto de vista biológico, relaciona-se com um arranjo de genes, o cromossomo, num AG, é uma sequência de valores associados às variáveis a serem otimizadas. É possível associar diretamente cada variável de otimização a um gene, de modo que cada cromossomo seria visto como um vetor contendo os valores dessas variáveis; entretanto, na proposta original de Holland, associava-se cada cromossomo a uma sequência de bits, ou seja, valores binários ('0' ou '1'), o que estabelecia uma conexão entre a representação digital do computador e o caráter discreto do conjunto de alelos de um gene. Se uma representação binária for adotada e os valores a serem otimizados forem, por exemplo, números reais, será preciso realizar algum tipo de codificação.

Um aspecto central de um AG é seu caráter populacional. O algoritmo não trabalha, a cada momento, com uma única solução, mas com uma população de soluções que são adaptadas conjuntamente. Isso traz a possibilidade de que essa adaptação ocorra através da combinação entre partes de diferentes soluções, num processo análogo a um cruzamento (crossover) (CASTRO, 2006).



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade
12 a 14 de novembro de 2024
Salvador - BA, Brasil

Outra maneira pela qual o algoritmo gera variações nas soluções existentes é através de um operador de mutação, que gera uma mudança aleatória numa solução com certa probabilidade.

Os operadores de crossover e mutação são os mecanismos básicos pelos quais um AG constrói novas soluções. Resta, porém, uma pergunta: de que maneira é possível garantir que a dinâmica do algoritmo produza uma população que tenda a expressar uma maior adequação ao problema abordado? A resposta para isso é o uso da função a ser otimizada como uma medida de fitness, ou seja, de adequação de uma determinada solução. Essa ideia abre a possibilidade de que se incorpore um mecanismo de pressão seletiva capaz de favorecer a “sobrevivência dos mais aptos” na população. É preciso ter em vista, no entanto, que essa tendência não é necessariamente determinística: assim como ocorre na natureza, uma solução mais bem adaptada não precisa necessariamente se manter na população, mas deve, de alguma forma, ter uma maior chance de passar às gerações seguintes e/ou gerar mais descendentes. A proposta clássica do AG como proposto por Holland utiliza um mecanismo probabilístico em que a probabilidade de seleção é diretamente proporcional ao valor de fitness (DE JONG, 2006). Esse mecanismo pode ser visto como uma roleta em que a área de cada solução é tanto maior quanto melhor for sua qualidade como solução do problema abordado.

Os elementos fundamentais estão dados: 1) uma população de soluções adequadamente codificadas; 2) operadores capazes de gerar variações nas soluções existentes e 3) um mecanismo de seleção que gere uma pressão seletiva no sentido das soluções de melhor qualidade. Com esses três elementos, é possível construir um algoritmo de busca com grande generalidade e uma ampla faixa de possíveis comportamentos de busca entre dois pólos fundamentais: a) um algoritmo guloso (em inglês, greedy), que necessariamente busca soluções melhores a cada iteração e b) uma busca cega, em que as soluções são buscadas por meio de um sorteio com igual probabilidade para todas as possíveis configurações. Todo algoritmo de otimização deve operar em algum ponto entre esses dois extremos, e, escolhendo



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

adequadamente a codificação, a inicialização da população, os operadores e o mecanismo de seleção, pode-se ter um AG operando com características bem distintas.

A inspiração do AG na natureza faz com que sua estrutura seja idêntica para uma ampla gama de problemas de otimização abordados. Por exemplo, um algoritmo genético para otimizar os parâmetros de um foguete pode ter uma estrutura idêntica à de um algoritmo genético implementado para otimizar as quantidades de produtos fabricados numa instalação ou mesmo as rotas de entrega dos produtos lá fabricados. Naturalmente, esse caráter flexível, que faz com que um AG, na terminologia de PO, seja classificado como uma metaheurística, indica claramente que o algoritmo não possui garantia de otimalidade, ou seja, de encontrar, garantidamente, a melhor solução para o problema. Na verdade, AGs devem ser usados como métodos para obter, com relativamente pouca informação sobre os pormenores de um problema, soluções de boa qualidade (mas não necessariamente ótimas) (CASTRO, 2006).

Em nossa interação com a Señoritas Courier, o caráter de metaheurística do AG e sua inspiração biológica foram ferramentas muito importantes para que a construção do algoritmo fosse realizada de maneira organicamente integrada com as necessidades e os pontos de vista do grupo, como é necessário que seja, caso se deseje adotar uma perspectiva de engenharia popular e solidária, i.e., uma perspectiva capaz de favorecer a construção de conhecimento e o empoderamento tecnológico. No problema de roteamento abordado, foi possível discutir os diferentes elementos do algoritmo de uma forma quase lúdica: codificação das rotas das diversas entregadoras, formas de combinar rotas para gerar novas soluções, formas de gerar variações “espúrias” nessas rotas, formas de quantificar a qualidade de uma solução a partir daquilo que, de fato, é importante para o dia a dia daquelas que serão usuárias e proprietárias da ferramenta. O caráter geral do algoritmo nos permite evitar as formulações matematicamente rebuscadas da teoria de otimização, permitindo que pessoas que não atuam na área possam desenvolver uma percepção intuitiva e própria do *modus operandi* do algoritmo. Isso nos parece um caminho promissor para um projeto de engenharia de uma perspectiva, digamos, freireana (FREIRE, 2014).



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade
12 a 14 de novembro de 2024
Salvador - BA, Brasil

PLATAFORMA SEÑORITAS

A busca pelo trabalho decente da cooperativa Señoritas Courier, ao longo de anos de atuação com entregas, levou-as ao desenvolvimento de um método próprio de organização, criação e distribuição de rotas de entrega que busca equilibrar os aspectos de otimização financeira, para pessoas trabalhadoras e clientes, com aspectos de qualidade do trabalho baseado nas necessidades e preferências individuais das pessoas ciclo entregadoras. Essa forma de organização é resultado da reflexão sobre o dia a dia das entregas e seus problemas, da análise de dados relativos às entregas realizadas, coletados e organizados pela cooperativa, e das experimentações de novas formas de roteirização de entregas no ambiente de trabalho.

Desde o começo do projeto de desenvolvimento da plataforma própria de entregas, a Señoritas Courier evidenciou aos grupos e pessoas parceiras do projeto a importância e centralidade que o método de roteirização desenvolvido pela cooperativa tem em seu funcionamento. Dessa forma, o projeto se estruturou em torno desse formato de divisão do trabalho, com a intenção de manter o “modo Señoritas Courier” de se organizar. Adicionalmente, a cooperativa preocupou-se em preservar sua agência e controle sobre a gestão do formato de trabalho, evitando que códigos, algoritmos e automações tornassem esse processo ininteligível e distante das pessoas da cooperativa. A consolidação das preocupações iniciais formataram claros objetivos: construir uma plataforma de entregas que preserve e potencialize o formato de trabalho do Señoritas Courier e que, ao mesmo tempo, aproxime as pessoas da cooperativa das novas tecnologias, mantendo a Señoritas no controle de seu trabalho.

A equipe da UNICAMP ingressou no projeto com objetivo de traduzir esse método próprio de trabalho da cooperativa para a plataforma de entregas. Dentro do campo da pesquisa operacional, o que temos nos referenciado como método de trabalho da cooperativa pode ser compreendido como o algoritmo que soluciona um problema de roteamento. Este último, por sua vez, pode encontrar diferentes formulações para contextos diferentes, como o problema do caixeiro viajante (PCV) (MATAI et al., 2010)



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

ou o problema do roteamento de veículos (PRV) (TOTH; VIGO, 2002). A atuação da equipe, entretanto, buscou tomar a direção oposta à trajetória historicamente observada de aliança entre pesquisa operacional e tecnociência capitalista, optando por desenvolver uma solução algorítmica estruturada na forma de organização da Señoritas Courier, refletindo suas experiências e valores e atendendo à nova etapa da cooperativa com sua plataforma de trabalho própria.

Ao adentrar a organização das entregas da cooperativa, durante a primeira etapa do projeto, compreendeu-se que há uma gama de tipos diferentes de entregas e serviços oferecidos pelo Señoritas Courier e que estes podem ser compreendidos como diferentes problemas de roteamento. Diante desse cenário, a estratégia adotada foi realizar o desenvolvimento de algoritmo de roteamento específico para cada serviço. A escolha do primeiro serviço a ser priorizado buscou equilibrar, de um lado, os ganhos da automação com a redução de horas de trabalho de roteamento do serviço de maior volume e maior dificuldade de elaboração de rotas, com, de outro, a complexidade de desenvolvimento e implementação de algoritmos. Com esse intuito, o serviço escolhido foi o de entregas múltiplas com único ponto de coleta, que é tipicamente realizado para empresas e lojas de varejo.

Na sequência da compreensão do problema de otimização priorizado, tomou-se o caminho de se aprender como a cooperativa realiza o trabalho de roteamento para esse caso a cooperativa utiliza uma ferramenta de agenda em que as pessoas entregadoras declaram seus horários de disponibilidade para entregas, sempre com uma semana de antecedência. A pessoa responsável pela elaboração das rotas organiza os dados de disponibilidade juntamente com outros dados, relativos ao conhecimento já mapeado sobre as bicicletas de cada entregadora (para compreender capacidade de peso e volume), as áreas da cidade de atuação deles (divididas por CEP) e aspectos pessoais e do cuidado, como o estado de saúde mental de cada participante da cooperativa. Um terceiro conjunto de dados importantes para a elaboração das rotas vem diretamente do pedido feito pelo cliente requisitante. Nele são informados



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

os endereços de entrega, de coleta e as informações de peso e volume da carga a ser transportada para cada ponto.

A partir desses conjuntos de informações, o processo de roteamento inicia-se com a ordenação dos endereços de entrega por CEP, agrupando-os por áreas da cidade. Em seguida, com auxílio de ferramenta online de mapas, a pessoa responsável pelas rotas roteiriza os itinerários das entregadoras, respeitando suas restrições e particularidades e, ao mesmo tempo, buscando uma equidade de distâncias dos percursos, uma vez que a remuneração das pessoas ciclo entregadoras é feita por quilômetro rodado e não pela quantidade de entregas. O principal fator de otimização priorizado pela cooperativa é a distância total das rotas, já que possibilita a realização de maior quantidade de entregas, maior retorno financeiro e menor desgaste físico para as entregadoras. As rotas geradas passam por um processo de precificação, que é validado com cada pessoa entregadora responsável, e, num segundo momento, com o cliente: sendo ambas as validações bem-sucedidas, as rotas são confirmadas e agendadas. O serviço segue com a etapa de acompanhamento no dia em que as entregas são realizadas.

Ao iniciar o diálogo entre o método de roteamento desenvolvido pela cooperativa para o serviço de múltiplas entregas com único ponto de coleta e os problemas estudados na pesquisa operacional, a formulação de problema da literatura que mais se aproximou da situação apresentada foi o Problema do Roteamento de Veículos (PRV). Esse problema pode ser apresentado como, dado um conjunto de pontos de destino de entrega, um conjunto de veículos disponíveis e um ou mais pontos de distribuição, encontrar o conjunto de rotas performadas, cada uma realizada por único veículo começando e terminando em seu ponto de distribuição, que realizem as entregas, dentro das restrições estipuladas, com o menor custo de transporte.

Dessa forma, a formulação do serviço prestado pela cooperativa como um problema de otimização foi guiada pelo PRV. No entanto, a fim de preservar aspectos humanos e o trabalho do cuidado fundamentais a cooperativa, foram implementadas



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

adaptações à modelagem do problema. A primeira adaptação está relacionada ao fato de não se tratar de uma frota de veículos, e sim de pessoas entregadoras, cada uma com suas capacidades e preferências. Dessa forma, as restrições do problema devem ser individualizadas por pessoa entregadora. Outra adaptação é que, dado que a cooperativa não possui sede ou ponto de distribuição, as pessoas cooperadas iniciam e finalizam o dia de trabalho partindo de suas casas. Além disso, os deslocamentos para os pontos de coleta de clientes devem ser contabilizados como parte da jornada de trabalho.

Ao incorporar esses aspectos ao problema, dividimos as informações em dois conjuntos de dados: um referente às pessoas entregadoras e outro referente aos pedidos. Quanto ao primeiro conjunto, são organizadas as informações de endereço inicial e final para cada pessoa ciclo entregadora e também um conjunto de restrições individuais referentes à capacidade de transporte em volume, peso e distância máxima a ser percorrida. A respeito das informações sobre o pedido, há duas categorias: as informações dos pontos de entrega (que, além do endereço de destino, informam o peso e volume da carga a ser transportada) e as informações sobre o ponto de coleta (que hoje incluem apenas seu endereço). Definimos o problema de otimização como: dados os conjuntos de informações referentes às pessoas entregadoras e aos pedidos, encontrar o conjunto de rotas percorridas, cada uma realizada por uma única pessoa entregadora começando e terminando em seu ponto de partida, que realizem as entregas, dentro das restrições estipuladas, com o menor custo de transporte e, se possível, com divisão igualitária de distâncias percorridas entre as entregadoras.

A primeira etapa da nossa intervenção (reconhecimento mínimo) se encerrou com o problema delineado e a escolha da metodologia de solução (algoritmos genéticos) feita. A etapa seguinte (primeira mínima intervenção empoderadora) foi iniciada com objetivo de implementar uma primeira versão do algoritmo de rotas. Como primeiro passo para a implementação do algoritmo genético foi feita a escolha da representação computacional, ou codificação, das soluções candidatas. Para a representação do cromossomo, utilizou-se um vetor no qual as diferentes posições representam os



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade
12 a 14 de novembro de 2024
Salvador - BA, Brasil

endereços de entrega, enquanto os valores correspondentes a cada posição representam a pessoa ciclo entregadora responsável pela entrega, como na Figura 1. Essa representação evita etapas de verificação de factibilidade nos operadores das etapas de cruzamento e mutação, diminuindo sua complexidade, porém, não representa a ordem em que as entregas devem ser realizadas. Para que o algoritmo trate também da ordem das entregas, e, assim, consiga realizar cálculos das distâncias das rotas, foi incorporada, na etapa de decodificação das soluções candidatas, uma heurística que busca o trajeto de menor distância para cada conjunto de pontos de entrega de responsabilidade de cada pessoa entregadora.

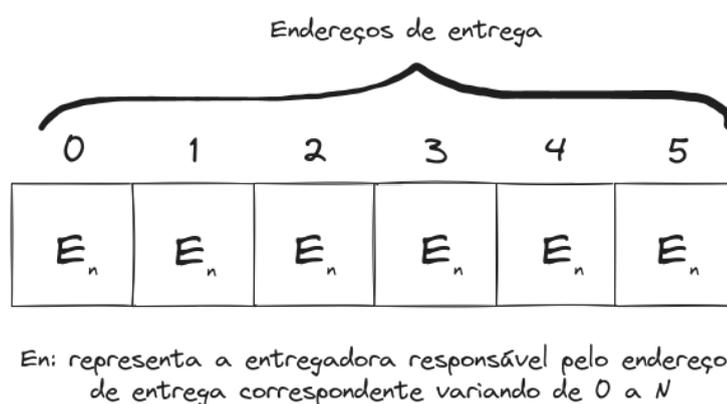


Figura 1: Representação da solução candidata codificada.

O desenvolvimento da primeira versão do algoritmo prosseguiu com a escolha e implementação dos demais operadores e etapas do algoritmo genético. Para a etapa de seleção, aquela que escolhe os elementos da população para gerar indivíduos da nova geração, escolhemos a estratégia de sempre manter como um dos elementos geradores a solução de maior pontuação e escolher aleatoriamente um outro indivíduo da população para realizar o cruzamento. Para a etapa de cruzamento, foi escolhido inicialmente o operador de crossover ordenado (KARAKATIČ; PODGORELEC, 2015). Entretanto, durante a implementação, notou-se que um operador mais adequado ao formato de codificação utilizado seria o crossover de dois pontos (KARAKATIČ; PODGORELEC, 2015), já que preservar a ordem não necessariamente refletiria propagação de bons genes. Para a mutação, escolheu-se um esquema de mutação



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

pontual (KARAKATIČ; PODGORELEC, 2015), configurado para alterar uma única posição por um valor diferente do atual. Inicialmente o operador de mutação era aplicado em 100% dos indivíduos, mas, ao analisarmos a diversidade da população, compreendemos que seria interessante uma taxa menor de mutação, reduzindo-a para 10%. A última escolha de implementação para a primeira versão do algoritmo foi a etapa de avaliação, que foi configurada para classificar as soluções candidatas pela somatória das distâncias das rotas, elegendo como melhor solução a que tivesse menor valor de distância. Uma sistematização dessas etapas pode ser observada na Figura 2.

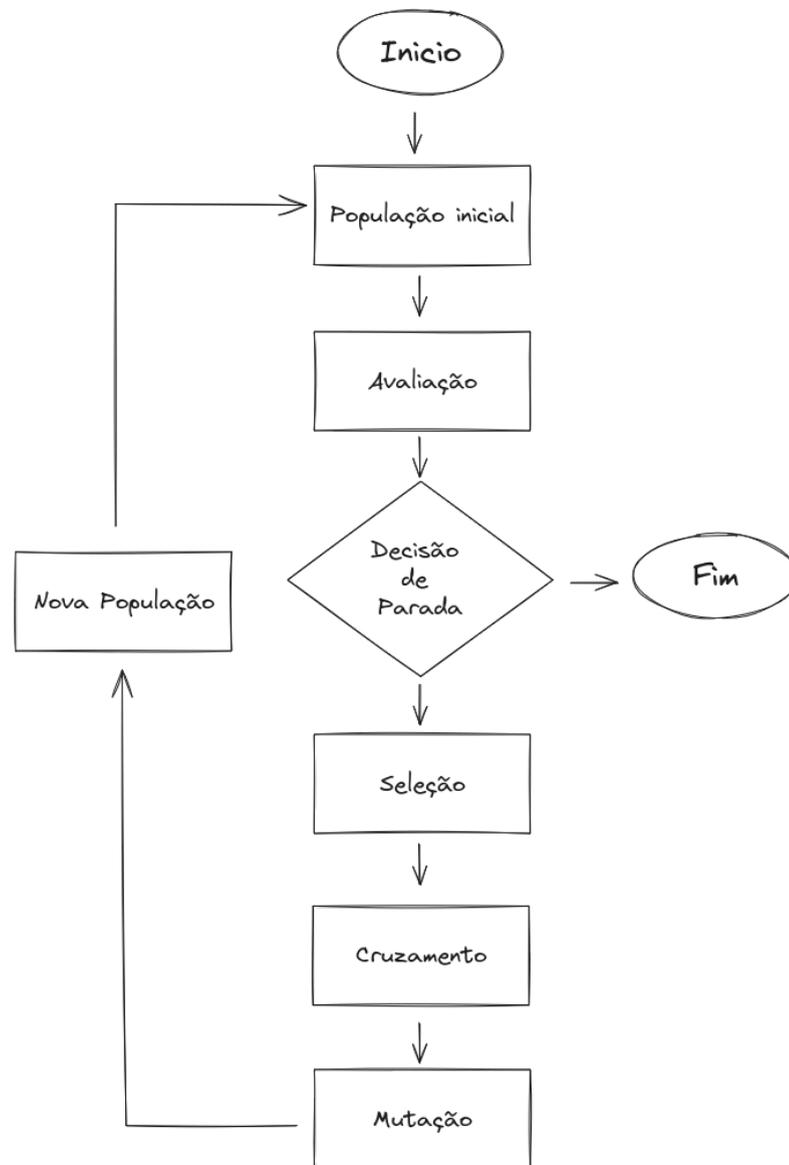


Figura 2: Fluxograma Algoritmo Genético

A última etapa buscou evoluir a solução construída na etapa anterior em um processo de testes, análise conjunta da cooperativa e implementação de melhorias. Inicialmente, direcionamos nossos esforços para aprimorar a qualidade de resposta do algoritmo, considerando que a qualidade estava associada à proximidade entre as respostas do algoritmo e aquelas que a cooperativa segue construindo “manualmente”. Como guia para melhoria da solução, foi construído um experimento de avaliação das respostas de diferentes versões do algoritmo. O experimento consistiu



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

em executar essas diferentes versões 1000 vezes para o mesmo caso de teste e obter métricas de qualidade da solução a serem comparadas. As métricas escolhidas foram: média da distância total dos percursos completos; média da distância total dos percursos de entrega; porcentagem de infração de restrições; e média do desvio padrão entre as distâncias dos percursos de entrega das pessoas ciclo entregadoras. Com as duas primeiras métricas, é possível avaliar a efetividade do algoritmo em minimizar as distâncias do trajeto. A factibilidade das soluções apresentadas é representada pela porcentagem de infração de restrições, uma vez que soluções que não respeitam as restrições não podem ser utilizadas no dia a dia da cooperativa. E por fim, a última métrica indica o balanceamento de equidade de distribuição de trabalho entre as pessoas cooperadas. O cenário de teste utilizado foi disponibilizado pela cooperativa e contou com um serviço realizado por duas pessoas entregadoras para nove endereços de entrega diferentes.

A etapa que exerce a maior influência sobre a qualidade das respostas é a avaliação. Portanto, concentramos nossos esforços nessa etapa, realizando experimentos com diversas versões do algoritmo, modificando exclusivamente esse operador. A primeira versão do algoritmo manteve a etapa de avaliação desenvolvida na segunda etapa do projeto, pontuando as soluções candidatas unicamente pela somatória das distâncias dos percursos completos de cada rota da solução: esse operador foi denominado max distance. Já na segunda versão, foi acrescida ao operador a funcionalidade de penalização de soluções que infringissem restrições de distância máxima total, distância máxima da rota de entregas, volume ou peso: o operador foi denominado constrained max distance. A última versão testada incorporou às alterações da segunda versão uma penalização progressiva de soluções candidatas de acordo com a diferença de distância do percurso de entregas entre as pessoas entregadoras, buscando trazer maior equidade para essa métrica entre as pessoas trabalhadoras: trata-se do operador denominado progressive constrained max distance.



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

O experimento, ainda que preliminar, trouxe uma análise quantitativa sobre a qualidade das respostas do algoritmo em diferentes versões do operador da etapa de avaliação. Ao analisar os resultados organizados na Tabela 1, é possível compreender que as alterações realizadas na etapa de avaliação foram efetivas em suas proposições. Para o primeiro operador proposto, max distance, é possível observar maior otimização das distâncias que as demais respostas, entretanto, acaba por infringir restrições e desbalancear a carga de trabalho entre as pessoas entregadoras. O segundo operador, projetado para evitar a infração de restrições, reduz a porcentagem de infrações a zero, cumprindo seu papel para este caso de teste. Já para o último operador, é possível observar que, além de persistir com a porcentagem de infrações em zero, também traz maior balanceamento de carga de trabalho entre as pessoas ciclo entregadoras, que pode ser observado pela média do desvio padrão. É interessante notar que, a cada incremento nos operadores da etapa de avaliação, há um aumento na qualidade das respostas em termos de infração de restrições e de balanceamento de carga de trabalho. Entretanto, o custo dessas melhorias é observado no aumento das distâncias totais a serem percorridas.

Operador de Avaliação	Média da distância total dos percursos completos	Média da distância total dos percursos de entrega	Porcentagem de infração de restrições	Média do desvio padrão entre as distâncias dos percursos de entrega das
-----------------------	--	---	---------------------------------------	---



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade
12 a 14 de novembro de 2024
Salvador - BA, Brasil

				peças ciclo entregadoras
Max Distance	62.10 km	31.44 km	41.2%	7.92 km
Constrained Max Distance	68.66 km	33.03 km	0%	2.40 km
Progressive Constrained Max Distance	72.72 km	36.32 km	0%	0.81 km

Tabela 1: Comparação de métricas de qualidade das respostas do algoritmo genético para diferentes operadores da etapa de Avaliação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa operacional historicamente tem sido aliada da tecnocracia capitalista. Entretanto, novas abordagens podem aproximar essas técnicas da luta das pessoas trabalhadoras e da construção de tecnocracias mais solidárias. Isso pressupõe tanto adequação metodológica das práticas de engenharia de software e alargamentos na compreensão e no uso dessas técnicas (o que seria o equivalente à decolonizá-las), quanto, para tanto – e idealmente –, a incorporação disso ao cânon dos conhecimentos disponíveis e ensinados, na universidade, a pessoas que atuarão profissionalmente nessas áreas. Nesse sentido, a intervenção aqui descrita, que se insere em um projeto de mestrado (pesquisa), com claro componente extensionista solidário (ou emancipador), pretende-se também uma materialização da disputa da universidade para a tecnocracia solidária.

Quanto ao algoritmo em si, o experimento proposto auxiliou o desenvolvimento de melhorias para algoritmo de rotas da plataforma da cooperativa Señoritas Courier, quantificando aspectos até então subjetivos sobre a qualidade das rotas geradas. Esse processo de sistematização foi importante para a escolha dos melhores operadores



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

que integram a versão final do módulo gerador de rotas que integra a plataforma Señoritas Courier.

Ressaltamos que o processo sociotécnico não se resume aos produtos e resultados técnicos finais, mas também abrange a construção de relações e os possíveis empoderamentos gerados pela intervenção em diversas esferas, como política, ambiental e social. Entretanto, este texto foi construído com a intenção de elucidar à pessoa leitora os aspectos técnicos de um projeto de desenvolvimento de *software* com pretensões solidárias. As demais reflexões relacionadas à metodologia, ao empoderamento e à intervenção em si serão abordadas em trabalhos futuros.

Embora o projeto de mestrado termine em agosto de 2024, a participação do primeiro autor deste artigo continuará no desenvolvimento da plataforma da cooperativa Señoritas Courier. Como próximos passos, pretende-se desenvolver algoritmos para os demais serviços de entrega oferecidos pela cooperativa, além de realizar capacitação técnica para as integrantes da Señoritas Courier sobre o funcionamento desses algoritmos. Espera-se que, a curto ou médio prazo, seja possível observar o empoderamento trazido pela solução algorítmica na economia de tempo de trabalho relacionada à roteirização das entregas, mantendo, ao mesmo tempo, os valores essenciais do grupo.

REFERÊNCIAS

ALVEAR, Celso Alexandre; NEDER, Ricardo; SANTINI, Daniel. ECONOMIA SOLIDÁRIA 2.0: por um cooperativismo de plataforma solidário. P2P E INOVAÇÃO, v. 9, n. 2, p. 42-61, 2023.

DE CASTRO, Leandro Nunes. Fundamentals of natural computing: basic concepts, algorithms, and applications. CRC Press, 2006.

DE JONG, Kenneth. Evolutionary computation: a unified approach. In: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion. 2017. p. 373-388.



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

DAGNINO, Renato. *Tecnociência solidária: um manual estratégico*. Marília: Lutas Anticapital, p. 161, 2019.

EBERHART, Russell C.; SHI, Yuhui; KENNEDY, James. *Swarm Intelligence* (Morgan Kaufmann series in evolutionary computation). Morgan Kaufmann Publishers, 2001.

ESTERMANN, Josef. *Colonialidad, descolonización e interculturalidad*. Apuntes desde la Filosofía Intercultural. Polis. Revista Latinoamericana, n. 38, 2014.

FEENBERG, Andrew. *Questioning technology*. Routledge, 2012.

FEENBERG, Andrew. *Transforming Technology: a critical theory revisited*. New York: Oxford University Press, 2002.

FEENBERG, Andrew. *Entre a razão e a experiência: ensaios sobre tecnologia e modernidade*. Trad.: E. Beira; C. Cruz; R. Neder. Vila Nova de Gaia: Inovatec, 2019.

FLOUDAS, Christodoulos A.; PARDALOS, Panos M. (Ed.). *Encyclopedia of optimization*. Springer Science & Business Media, 2008.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do Oprimido*. Paz e Terra, 2014.

GOLDSMAN, Florencia. *Señoritas Courier: El Futuro de las Cooperativas Tecnológicas a pedales*. 2023. Acessado em 20/04/2023. Disponível em: <<https://www.pikaramagazine.com/2023/03/senhoritas-courier-el-futuro-de-las-cooperativas-tecnologicas-a-pedales/>>.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. *Deep learning*. MIT press, 2016.

GONÇALVES, Gustavo Nicolau; DE FAISSOL ATTUX, Romis Ribeiro; CRUZ, Cristiano Cordeiro. *Desenvolvimento de algoritmo gerador de rotas com valores solidários*. Anais dos Encontros Nacionais de Engenharia e Desenvolvimento Social-ISSN 2594-7060, v. 18, n. 1, p. 17-17, 2023.



XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Futuros reinventados: Construindo o amanhã com a linha da ancestralidade

12 a 14 de novembro de 2024

Salvador - BA, Brasil

GROHMANN, Rafael. Plataformas de propriedade de trabalhadores: cooperativas e coletivos de entregadores. *Matrizes*, v. 16, n. 1, p. 209-233, 2022.

HAYKIN, Simon. *Neural networks and learning machines*, 3/E. Pearson Education India, 2009.

HOLLAND, John H. *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. MIT press, 1992.

HUI, Yuk. *The Question Concerning Technology in China: An Essay in Cosmotronics*. UK: Urbanomic Media Ltd., 2016.

HUI, Yuk. On Cosmotronics: For a Renewed Relation between Technology and Nature in the Anthropocene. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 21, 2–3, p. 319–341, 2017. <http://doi.org/10.5840/techne201711876>

HUI, Yuk. *Tecnodiversidade*. Trad. Humberto do Amaral. São Paulo: Ubu Editora, 2020.

KARAKATIČ, Sašo; PODGORELEC, Vili. A survey of genetic algorithms for solving multi depot vehicle routing problem. *Applied Soft Computing*, v. 27, p. 519-532, 2015.

MALDONADO-TORRES, Nelson. El pensamiento filosófico del “giro descolonizador”. El pensamiento filosófico latinoamericano, del Caribe, y “latino”(1300-2000): historia, corrientes y filósofos, p. 683-697, 2011.

MATAI, Rajesh; SINGH, Surya Prakash; MITTAL, Murari Lal. *Traveling salesman problem: an overview of applications, formulations, and solution approaches*. *Traveling salesman problem, theory and applications*, v. 1, n. 1, p. 1-25, 2010.

SCHOLZ, Trebor. *Cooperativismo de plataforma*. São Paulo: Elefante, 2016.

TOTH, Paolo; VIGO, Daniele (Ed.). *The vehicle routing problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.